

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 27 550 A 1**

⑤① Int. Cl.⁸:
F 16 C 32/04
H 02 K 5/18

②① Aktenzeichen: 197 27 550.8
②② Anmeldetag: 28. 6. 97
②③ Offenlegungstag: 28. 2. 98

DE 197 27 550 A 1

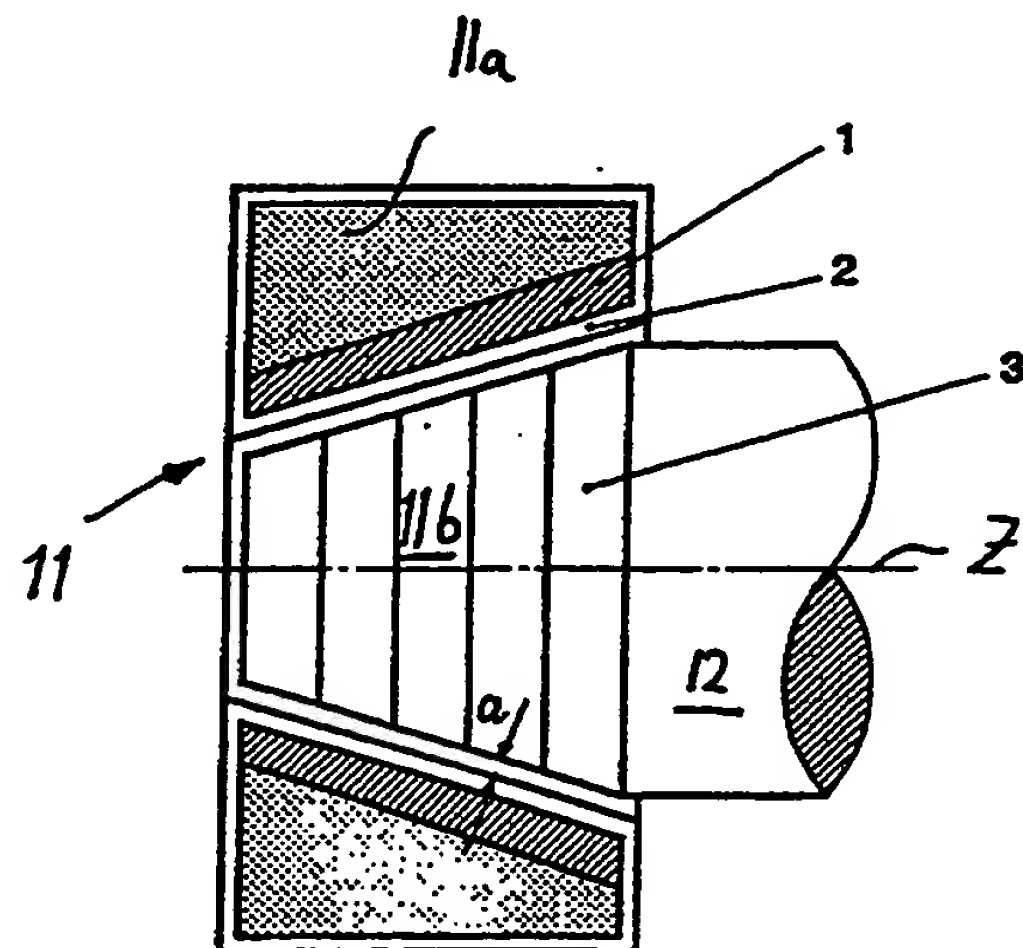
⑥⑥ Innere Priorität:
196 33 678.3 21.08.96
⑦① Anmelder:
Canders, Wolf-R., Prof. Dr.-Ing., 37520 Osterode, DE
⑦④ Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

⑦② Erfinder:
Canders, Wolf-Rüdiger, Prof. Dr. Ing., 37520
Osterode, DE; May, Hardo, Dipl.-Ing., 38124
Braunschweig, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Magnetische Lagerung eines Rotors in einem Stator

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine magnetische Lagerung eines Rotors (12) in einem Stator, mit zumindest einem Magnetlager (11), das einen Statorteil (11a) und einen hierzu in Betriebsstellung coaxial berührungslos angeordneten Rotorteil (11b) aufweist, dessen Lagerwirkfläche sich zusammensetzt aus zumindest zwei axial magnetisierten Permanentmagnetscheiben (4) mit alternierender, parallel zur Lagerwirkfläche ausgerichteter Magnetisierung (N, S) und aus die Permanentmagnetscheiben (4) axial abdeckenden bzw. zwischen den Permanentmagnetscheiben (4) angeordneten scheibenförmigen Polschuhen (5), während der Statorteil (11a) einen Hochtemperatursupraleiter (1) aufweist. Zur Verbesserung dieser Lagerung wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß die Lagerwirkfläche kegelstumpfförmig ausgebildet ist, und daß zum Einfrieren des Hochtemperatursupraleiters (1) Statorteil (11a) sowie Rotorteil (11b) relativ zueinander bis zur gegenseitigen Anlage axial verschiebbar ausgebildet sind.



DE 197 27 550 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01.98 702 089/515

11/23

Die Erfindung betrifft eine magnetische Lagerung eines Rotors in einem Stator, mit zumindest einem Magnetlager, das einen Statorteil und einen hierzu in Betriebsstellung coaxial berührungslos angeordneten Rotorteil aufweist, dessen Lagerwirkfläche sich zusammensetzt aus zumindest zwei axial magnetisierten Permanentmagnetscheiben mit alternierender, parallel zur Lagerwirkfläche aus gerichteter Magnetisierung und aus die Permanentmagnetscheiben axial abdeckenden bzw. zwischen den Permanentmagnetscheiben angeordneten scheibenförmigen Polschuhen, während der Statorteil einen Hochtemperatursupraleiter aufweist.

Eine derartige Ausführungsform läßt sich der DE 44 44 587 A1 entnehmen. Offenbart ist eine Turbine mit einer magnetisch gelagerten Welle, deren jedes Lager einen mit der Welle verbundenen ersten Lagerteil und einen ortsfesten zweiten Lagerteil umfaßt. Das erste Lagerteil ist ein mit der Turbinenwelle verbundenes permanentmagnetisches Element, während ein supraleitendes Hochtemperatursupraleitermaterial am ortsfesten zweiten Lagerteil angeordnet ist. Das permanentmagnetische Element umfaßt lamellenförmige, permanentmagnetische und ferromagnetische Bauteile, die abwechselnd aufeinanderfolgen. Die permanentmagnetischen Bauteile weisen eine parallel zur Achse der Turbinenwelle aus gerichtete, alternierend angeordnete Magnetisierung auf, wodurch das Lager sowohl in radialer als auch in axialer Richtung stabil ist. Befindet sich das Hochtemperatursupraleitermaterial im supraleitenden Zustand, werden bei einer Lageveränderung des permanentmagnetischen Elementes relativ zum supraleitenden Element im Supraleitermaterial Abschirmströme angeworfen. Dadurch werden magnetische Kräfte hervorgerufen, die der Lageveränderung des permanentmagnetischen Elementes relativ zum Supraleitermaterial entgegenwirken. Durch diese Kräfte stellt sich die vorherige Lage des permanentmagnetischen Elementes bezogen auf das Supraleitermaterial selbsttätig wieder ein. Dadurch wird eine intrinsisch stabile Lagerung ermöglicht.

Zum Einbringen dieser vorbekannten Turbinenwelle in ihre Sollage, ist eine Hebevorrichtung vorgesehen, wobei beim Stillstand der Turbine Hebeelemente die Turbinenwelle in einer vorgegebenen Lage oberhalb einer Sollposition tragen. Zur Inbetriebnahme der magnetischen Lager wird die Kühlung des Supraleitermaterials aktiviert, so daß sich der supraleitende Zustand einstellt. Mittels der Hebevorrichtung wird die Turbinenwelle dann leicht abgesenkt. Somit werden rückstellende Kräfte zwischen den Lagerteilen induziert. Mittels dieser Kräfte wird die Turbinenwelle in einer Sollage gehalten. Die Hebeelemente der Hebevorrichtung werden sodann von der Turbinenwelle entfernt, so daß die Lagerung der Turbinenwelle reibungsfrei ist. Dabei können zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Turbine in beiden Lagern mechanische Fang- bzw. Notlager vorgesehen sein, durch die eine Rotationsbewegung der Turbinenwelle auch ohne Kühlung der Lager möglich ist.

Die DE 42 32 869 A1 offenbart eine supraleitende Lagereinheit, die einen auf einer Drehwelle befestigten Permanentmagneten sowie einen supraleitenden Körper umfaßt, der am Innenumfang eines Gehäuses befestigt ist, das die Drehwelle umgibt. Der supraleitende Körper ist so eingerichtet, daß er bei aufwärts bewegter Drehwelle solange gekühlt werden kann, bis er einen

supraleitenden Zustand erreicht, so daß die Drehwelle während des Betriebes in einem Gleichgewichtszustand zwischen ihrem Gewicht und den anhängenden Teilen und einer Pinningkraft gehalten wird, die durch den Permanentmagneten und den supraleitenden Körper hervorgerufen wird. Dabei können die Permanentmagnete an der Drehwelle jeweils oben und unten und die supraleitenden Körper an zwei Stellen an oberen und unteren Innenumfangsflächen des Gehäuses befestigt sein. Die äußere Umfangsfläche der Permanentmagneten sind konische Außenflächen oder konvexe Flächen, während die Innenumfangsflächen der jeweiligen supraleitenden Körper konische Innenflächen oder konkave Flächen sind. Bei dieser Ausführungsform kann die Drehwelle mit einer ausreichend großen radialen Kraft aber auch in Axialrichtung (Druckrichtung) gelagert werden. Die auftretenden anziehenden und abstoßenden Kräfte können der Pinningkraft zugeschrieben werden.

Magnetische Lager in der Form geregelter Lager sind seit einiger Zeit bekannt. Nachteilig bei geregelten Magnetlagern ist die Tatsache, daß diese Lager nicht eigenstabil sind, sondern durch eine Regelung stabilisiert werden müssen, die Sensoren, Leistungsstellglieder und eine aufwendige elektronische Schaltung oder einen Mikrorechner mit komplexer Software enthält. Solche Systeme sind störanfällig, kostenintensiv und haben häufig Probleme mit der elektromagnetischen Verträglichkeit.

Zwar lassen sich sich aktive geregelte Komponenten mit Dauermagneten zu hybriden Lageranordnungen kombinieren, um beispielsweise den Energieverbrauch für die Lagerung weiter einzuschränken. Es ist jedoch seit langem bekannt, daß eine stabile, unregelmäßige Lagerung eines Körpers nur mit Dauermagneten nicht möglich ist. (Earnshaw, S.: On the Nature of Molecular Forces which regulate the Constitution of the Luminiferous Ether, Trans. of the Cambridge Philosophical Society, Bd. 7 (1842), S. 97 ... 112). Somit muß stets mindestens eine Achse geregelt werden. Aus regelungstechnischen Gründen entkoppelt man vorteilhaft die einzelnen Achsen, in dem man senkrecht aufeinander stehende Axial- und Radiallagerelemente aufbaut, was das Bauvolumen der Lagerung deutlich vergrößert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die eingangs beschriebene magnetische Lagerung zu verbessern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Lagerwirkfläche kegelstumpfförmig ausgebildet ist, und daß zum Einfrieren des Hochtemperatursupraleiters Statorteil sowie Rotorteil relativ zueinander bis zur gegenseitigen Anlage axial verschiebbar ausgebildet sind.

Stabile Lagerungen erhält man durch die Nutzung von Feldkräften, die entstehen, wenn man ein magnetisches Feld (Erregerfeld) an einen im supraleitenden Zustand befindlichen Supraleiter annähert (feldfreie Abkühlung) oder den Supraleiter im magnetischen Feld abkühlt (Abkühlung unter Betriebsfeld). Berechnungen zeigen, daß man unter praxisnahen Verhältnissen besonders günstige Kraftdichten der Tragkraft und Steifigkeiten dann erhält, wenn man den Supraleiter im engen Kontakt mit der Erregeranordnung abkühlt (Abkühlung unter maximalem Feld) und dann die Erregeranordnung in die Betriebsposition abrückt.

Als Supraleiterwerkstoffe lassen sich besonders vorteilhaft die Hochtemperatursupraleiter (HTSL) nutzen, die bereits bei Kühlung mit flüssigem Stickstoff ausreichend große kritische Stromdichten entwickeln. Eine Konfektionierung solcher Supraleiter in Form von

Drähten oder Spulen ist nicht erforderlich sondern es genügt die Verwendung einfach herstellbarer Massivmaterialien, wie sie beispielsweise aus YBaCuO-Legierungen im Schmelztexturierungsverfahren gewonnen werden. Je nach Wahl der Einfrierprozedur erzeugt der Supraleiter nur abstoßende Kräfte, abstoßende und anziehende Kräfte oder nur anziehende Kräfte.

Die erfindungsgemäße magnetische Lagerung ist kompakt und platzsparend und läßt sich mit anderen gleichen oder andersartigen Lagerelementen zu einer axial und radial stabilen und steifen Lagerung eines rotierenden Körpers kombinieren. Durch eine Lagerwirkfläche in Form eines Kegelstumpfes erhält man sowohl eine radiale als auch eine axiale Tragkraftkomponente. Durch die Wahl des Öffnungswinkels des Kegels läßt sich das Verhältnis der beiden Komponenten zueinander an die Erfordernisse des Einsatzfalles anpassen. Die Kegelstruktur gestattet die Anwendung der Einfrierprozedur "maximum field frozen" mit ihrer günstigen Tragkraftkennlinie durch eine einfache axiale Verschiebung des Lagerelementstators oder des Rotors und die gegenseitige Verspannung von zwei Lagerelementen, was zu einer deutlich höheren Lagersteifigkeit führt. Eine Kombination mit weiteren Elementen zur Verstärkung der Axialkraft- oder gegebenenfalls der Radialkraftkomponente ist problemlos möglich.

Die spezifische Tragkraft des Lagers und damit sein erforderliches Bauvolumen hängt im wesentlichen von zwei Größen ab. Zum einen von der kritischen Stromdichte des Supraleiters, zum anderen von der Größe des Erregerfeldes. Beide sollten so groß wie möglich sein. Während die kritische Stromdichte durch die Werkstofftechnologie gegeben ist, kann die Erregerfeldamplitude durch die Ausgestaltung mit Dauermagneten und Polschuhen deutlich gesteigert werden. Gleichzeitig werden durch die ferromagnetischen Polschuhe die Toleranzen in der Remanenzinduktion der einzelnen Magnete ausgeglichen und eine gleichmäßige Induktionsamplitude an der Wirkfläche des Lagers erzeugt. Dies ist eine Grundvoraussetzung für möglichst geringe Zusatzverluste. Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Polschuhe besteht in einer Blechung in axialer Richtung, die Wirbelströme und damit Zusatzverluste unterdrückt, die wiederum durch Inhomogenitäten des HTSL Materials erzeugt werden.

Während des Kaltfahrens des Cryostaten ist der Rotor in einer definierten Position zu fixieren, bis der supraleitende Zustand erreicht ist. Hierzu kann vorteilhaft die zentrierende Wirkung der Kegelmantelfläche genutzt werden, indem die Lagerstatoren axial bis zum Anschlag verschoben werden. Diese Art der Einfrierprozedur unter Magnetfeld (Abkühlung unter maximalem Feld) führt beim Abrücken der Lagerstatoren zu Zugkräften, so daß beide Lagerelemente gegeneinander verspannt werden können.

Durch eine entsprechend ausgebildete Anschlagkante kann hierbei eine exzentrische Verschiebung des Rotors in vertikaler Richtung erreicht werden, so daß die exzentrische Auslenkung gerade der statischen Einfederung des Rotors unter Eigengewicht entspricht. Im Betrieb würde der Rotororbit dann die geometrische Mitte des Lagers als Mittelpunkt haben.

Da der rotierende Teil des Lagers sinnvollerweise die Dauermagnete zum Aufbau des Erregerfeldes trägt, sind diese gegen die Fliehkraftbeanspruchung zu stabilisieren. Dies ist mit Hilfe einer formschlüssigen axialen Verspannung der Erregeranordnung oder durch eine Bandagierung der Magnete mit hochsteifen Faserver-

bundwerkstoffen möglich.

Auch die Kombination des supraleitenden Lagers mit einem weiteren Lager auf der Basis von Permanentmagneten (abstoßend oder anziehend) ist möglich und führt zu weiteren Platz- und Kosteneinsparungen.

Weitere Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche und werden mit weiteren Vorteilen der Erfindung anhand einiger Ausführungsbeispiele näher erläutert.

In der Zeichnung sind einige als Beispiele dienende Ausführungsformen der Erfindung schematisch dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 eine magnetische Lagerung im Längsschnitt;

Fig. 2 im Längsschnitt den Rotorteil eines Magnetla-

gers;

Fig. 3 eine abgewandelte Ausführungsform in einer Darstellung gemäß Fig. 2;

Fig. 4 eine abgewandelte Ausführungsform in einer Darstellung gemäß Fig. 3;

Fig. 5 im Längsschnitt eine den Rotor bildende Welle, die in zwei Magnetlagern gelagert ist, deren Statorteile gegenüber dem Rotor axial gegensinnig verschiebbar sind;

Fig. 6 Darstellung gemäß Fig. 5, wobei jedoch der Rotor gegenüber den ortsfest angeordneten Statorteilen der beiden Magnetlager axial verschiebbar ist;

Fig. 7 den Statorteil eines Magnetlagers im Längsschnitt;

Fig. 8 einen Querschnitt gemäß der Linie A-B in Fig. 7;

Fig. 9 eine Ausführungsform gemäß Fig. 6 mit einem zusätzlichen Axiallager und einem mit dem Rotor verbundenen Turbinenlaufrad;

Fig. 10 eine abgewandelte Ausführungsform in einer Darstellung gemäß Fig. 6 und

Fig. 11 eine abgewandelte Ausführungsform in perspektivischer Darstellung.

Fig. 1 zeigt eine an dem einen Ende eines Rotors 12 vorgesehene magnetische Lagerung dieses Rotors in einem nicht näher dargestellten Stator. Schematisch dargestellt ist ein Magnetlager 11, das einen Statorteil 11a und einen hierzu in Betriebsstellung coaxial berührungslos angeordnetes Rotorteil 11b aufweist.

Der Statorteil 11a weist einen massiven Hochtemperatursupraleiter 1 auf, der als flußfixierendes Bauteil innerhalb eines Cryostaten 2 angeordnet ist. Im Rotorteil 11b sind Dauermagnete 3 zur Erzeugung eines multipolaren Erregerfeldes angeordnet. Die Wirkfläche des Lagers ist in Form eines Kegelstumpfmantels ausgeführt, so daß das Magnetlager 11 gleichzeitig Radial- und Axialkräfte erzeugen kann, deren Verhältnis zueinander durch den Öffnungswinkel des Kegels einstellbar ist.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 setzt sich die Lagerwirkfläche des Rotorteils 11b zusammen aus mehreren axialmagnetischen Permanentmagnetscheiben 4 mit alternierender, parallel zur Lagerwirkfläche ausgerichteter Magnetisierung N, S und aus die Permanentmagnetscheiben 4 axial abdeckenden bzw. den Permanentmagnetscheiben angeordneten scheibenförmigen Polschuhen 5.

Die Permanentmagnetscheiben 4 sind mit ihren gleichnamigen Polen zueinander angeordnet, so daß bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 ein in Umfangsrichtung gleichförmiges, in axialer Richtung multipolares magnetisches Feld entsteht, während fertigungsbedingte Inhomogenitäten der Dauermagnete 3 durch die Polschuhe 5 ausgeglichen werden.

Die Polschuhe 5 können aus hochfestem ferromagne-

tischen Material, insbesondere aus in axialer Richtung geblechtem ferromagnetischen Material, vorzugsweise Elektroblech, bestehen, so daß Wirbelströme in den Polschuhen 5 aufgrund fertigungsbedingter Inhomogenitäten der Hochtemperatursupraleiter weitgehend unterdrückt werden.

Die Fig. 3 und 4 lassen erkennen, daß die die Lagerwirkfläche des Rotorteils 11b bildenden Bauteile 4, 5 axial verspannt sind. Vorgesehen sind hierfür ein Spannbolzen 13, auf den eine Spannmutter 14 geschraubt ist, die den Spanndruck über einen Preßring 15 auf den äußersten Polschuh 5 aufbringt.

Fig. 3 läßt erkennen, daß benachbarte Permanentmagnetscheiben 4 und Polschuhe 5 spiegelbildlich zu ihrer zentrischen Achse Z eine konisch komplementäre Querschnittsform aufweisen, wobei sich die Polschuhe 5 radial nach außen verbreitern. Die Bauelemente 4, 5 sind durch die axiale Verspannung gegen Fliehkräfte gesichert.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 4 sind die Permanentmagnetscheiben 4 auf ihrer Mantelfläche 7 mit einer Bandage 6 aus hochmoduligem Faserverbundwerkstoff, vorzugsweise Kohlefasern, gegen Fliehkräfte abgestützt. Dabei ist es zweckmäßig, wenn die Mantelfläche der Permanentmagnetscheiben 4 eine Konizität im Bereich der Selbsthemmung aufweist, und daß auf der Mantelfläche 7 der Permanentmagnetscheiben 4 die genannte Bandage 6 mit komplementärer Innenkontur aufpreßt ist.

Gemäß Fig. 5 ist der Rotor 12 in zwei sich axial gegenüberliegenden, hinsichtlich ihrer Kegelstumpfform spiegelbildlich zueinander ausgebildeten Magnetlagern 11 gelagert. Durch axiale Verschiebung der Statorteile 11a um einen Betrag S (siehe in Fig. 5 die gestrichelte Darstellung) wird eine Verspannung der Magnetlager zur Erhöhung der Steifigkeit möglich.

Fig. 6 zeigt ebenfalls einen Rotor 12, der in seinen beiden Endbereichen in einem Magnetlager zum Beispiel gemäß Fig. 1 gelagert ist. Der Rotor 12 ist gegenüber den ortsfest angeordneten Magnetlagern axial verschiebbar. Dies gibt die Möglichkeit, die beiden Magnetlager 11 nacheinander abzukühlen und während des Kaltfahrens den Rotor 12 erst in dem einen, z. B. linken und dann in dem anderen, z. B. rechten Lagerelement im axialen und zentrierten Anschlag zu positionieren, so daß sich die günstigen Steifigkeitskennlinien für "Abkühlung unter maximalem Feld" (MFF) sowie eine axiale Verspannung nach der Abkühlung beider Lagerelemente einstellen läßt.

Um während der Einfrierprozedur dem Rotor 12 eine definierte exzentrische Position vorzugeben, ist es vorteilhaft, wenn eine den Rotor 12 umgreifende Wandung des Cryostaten 2 zumindest eine sich annähert in Axialrichtung erstreckende Anschlagleiste 8 aufweist, die dem Rotor 12 bei seiner Axialverschiebung in den Statorteil 11a eine exzentrische Position verleiht, die der negativen statischen Einfederung des Rotors 12 unter Eigengewicht entspricht. Günstiger ist die Anordnung von zwei Anschlagleisten 8. In jedem Fall wird eine definierte exzentrische Position des Rotors vorgegeben, die der negativen statischen Einfederung des Rotors 12 unter Eigengewicht entspricht.

Zur Bildung eines zusätzlichen Axiallagers kann der Sator in einer axial außen liegenden Stirnwandung einen ringförmigen Abschnitt 10 des Hochtemperatursupraleiters 1 aufweisen, dem ein aus Permanentmagneten zusammengesetzter Magnetring 9 zugeordnet ist, der in ein mit dem Rotor 12 in Rotationsverbindung stehendes

Turbinenlaufrad 16 oder dergleichen integriert ist.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 10 ist nur die linke magnetische Lagerung als stabilisierendes Lager gemäß Fig. 1 aus gebildet, während die rechte Lagerung mit abstoßenden oder aber anziehenden Permanentmagneten 17, 18 aufgebaut werden kann.

Fig. 11 zeigt einen Rotor 12 mit vertikaler Achse Z. Der Rotor 12 ist in der linken Darstellung a) in seiner Einfrierposition und in der rechten Darstellung b) in seiner Betriebsposition dargestellt.

Zum Einfrieren wird der Rotor 12 axial nach oben geschoben, bis der Rotorteil 11b am Statorteil 11a anliegt. Diese Axialverschiebung ist mit ΔZ angegeben. Die untere magnetische Lagerung weist in dieser Position den größten Spaltabstand a zwischen Statorteil 11a und Rotorteil 11b auf. In dieser Position des Rotors 12 werden beide Magnetlager 11 gleichzeitig kalt gefahren. Dies ergibt in dem oberen Magnetlager ein "Einfrieren in der Maximal-Feld-Position" (Maximum Field Frozen = MFF), während sich im unteren Magnetlager ein Einfrieren in der Minimal-Feld-Position (Operational Field Frozen with Offset = OFFo) ergibt. Die Einfrierprozedur "Operational Field Freezing" kann mit oder ohne Verschiebung zur Betriebsposition (Offset) erfolgen.

Untersuchungen haben ergeben, daß Tragfähigkeiten und Steifigkeiten der Magnetlager vom Einfrierverfahren und von der Lastrichtung abhängig sind. So können OFF-Lager sehr gut Druckkräfte aufnehmen, während MFF-Lager gute Eigenschaften bei der Zugbeanspruchung aufweisen. Durch das bei der Ausführungsform gemäß Fig. 11 durchgeführte Einfrierverfahren erreicht man eine Kompensation der statischen Gewichtskraft und damit eine vorteilhafte Optimierung der Tragfähigkeit der magnetischen Lagerung. Gibt man nämlich den sich in der Position der Fig. 11a befindlichen Rotor 12 nach dem Kaltfahren frei, wird infolge der Gewichtskräfte das obere Magnetlager auf Zug und das untere Magnetlager auf Druck belastet, was zu einer optimalen Tragfähigkeit und Steifigkeit führt.

Patentansprüche

1. Magnetische Lagerung eines Rotors (12) in einem Sator, mit zumindest einem Magnetlager (11), das einen Statorteil (11a) und einen hierzu in Betriebsstellung coaxial berührungslos angeordneten Rotorteil (11b) aufweist, dessen Lagerwirkfläche sich zusammensetzt aus zumindest zwei axial magnetisierten Permanentmagnetscheiben (4) mit alternierender, parallel zur Lagerwirkfläche gerichteter Magnetisierung (N, S) und aus die Permanentmagnetscheiben (4) axial abdeckenden bzw. zwischen den Permanentmagnetscheiben (4) angeordneten scheibenförmigen Polschuhen (5), während der Statorteil (11a) einen Hochtemperatursupraleiter (1) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagerwirkfläche kegelstumpfförmig ausgebildet ist, und daß zum Einfrieren des Hochtemperatursupraleiters (1) Statorteil (11a) sowie Rotorteil (11b) relativ zueinander bis zur gegenseitigen Anlage axial verschiebbar ausgebildet sind.
2. Magnetische Lagerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß massive Hochtemperatursupraleiter (1) als flußfixierendes Bauteil innerhalb eines Cryostaten (2) angeordnet sind.
3. Magnetische Lagerung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die die Lagerwirkflächen des Rotorteils (11b) bildenden Bauteile (4, 5)

axial verspannt sind. (Fig. 3).

4. Magnetische Lagerung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte Permanentmagnetscheiben (4) und Polschuhe (5) spiegelbildlich zu ihrer zentrischen Achse (Z) eine konisch komplementäre Querschnittsform aufweisen, wobei sich die Polschuhe (5) radial nach außen verbreitern. (Fig. 3).

5. Magnetische Lagerung nach Anspruch 1, 2 oder J, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnetscheiben (4) auf ihrer Mantelfläche (7) mit einer Bandage (6) aus hochmoduligem Faserverbundwerkstoff gegen Fliehkräfte abgestützt sind. (Fig. 4).

6. Magnetische Lagerung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Mantelfläche (7) der Permanentmagnetscheiben (4) eine Konizität im Bereich der Selbsthemmung aufweist, und daß auf dieser Mantelfläche (7) die genannte Bandage (6) mit komplementärer Innenkontur aufgepreßt ist.

7. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Polschuhe (5) aus hochfestem ferromagnetischem Material bestehen.

8. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Polschuhe (5) aus in axialer Richtung geblechtem ferromagnetischem Material bestehen.

9. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine den Rotor (12) umgreifende Wandung des Cryostaten (2) zumindest eine sich angenähert in Axialrichtung erstreckende Anschlagleiste (8) aufweist, die dem Rotor (12) bei seiner Axialverschiebung in den Statorteil (11a) eine exzentrische Position verleiht, die der negativen statischen Einfederung des Rotors (12) unter Eigengewicht entspricht. (Fig. 7 und 8).

10. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung eines zusätzlichen Axiallagers der Statorteil (11a) in einer axial außen liegenden Stirnwandung einen ringförmigen Abschnitt (10) des Hochtemperatursupraleiters (1) aufweist, dem ein aus Permanentmagneten zusammengesetzter Magnetring (9) zugeordnet ist, der in ein mit dem Rotor (12) in Rotationsverbindung stehendes Turbinenlaufrad (16) oder dergleichen integriert ist. (Fig. 9).

11. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (12) in zwei sich axial gegenüberliegenden, hinsichtlich ihrer Kegelstumpfform spiegelbildlich zueinander ausgebildeten Magnetlagern (11) gelagert ist. (Fig. 5, 6 und 9).

12. Verfahren zum Einbringen des Rotors in seine Betriebsstellung bei Verwendung einer magnetischen Doppellagerung gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zuerst das eine der beiden Magnetlager und anschließend das andere Magnetlager abgekühlt werden,

daß während des Kaltfahrens der Rotor zuerst mit seinem einen Lagerabschnitt bis zum Anschlag in das eine Magnetlager verschoben und anschließend bis zum Anschlag in das andere Magnetlager verschoben wird, und

daß nach der Abkühlung beider Magnetlager eine axiale Verspannung der beiden wirksamen Lager-

abschnitte des Rotors erfolgt.

13. Verfahren zum Einbringen des Rotors in seine Betriebsstellung bei Verwendung einer magnetischen Doppellagerung gemäß Anspruch 9, gekennzeichnet durch die Verwendung eines Rotors mit vertikaler Achse, der nach oben in das obere Magnetlager bis zur Anlage des Rotorteils an dessen Statorteil geschoben wird, worauf beide Magnetlager gleichzeitig kalt gefahren und anschließend der Rotor freigegeben werden. (Fig. 11).

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

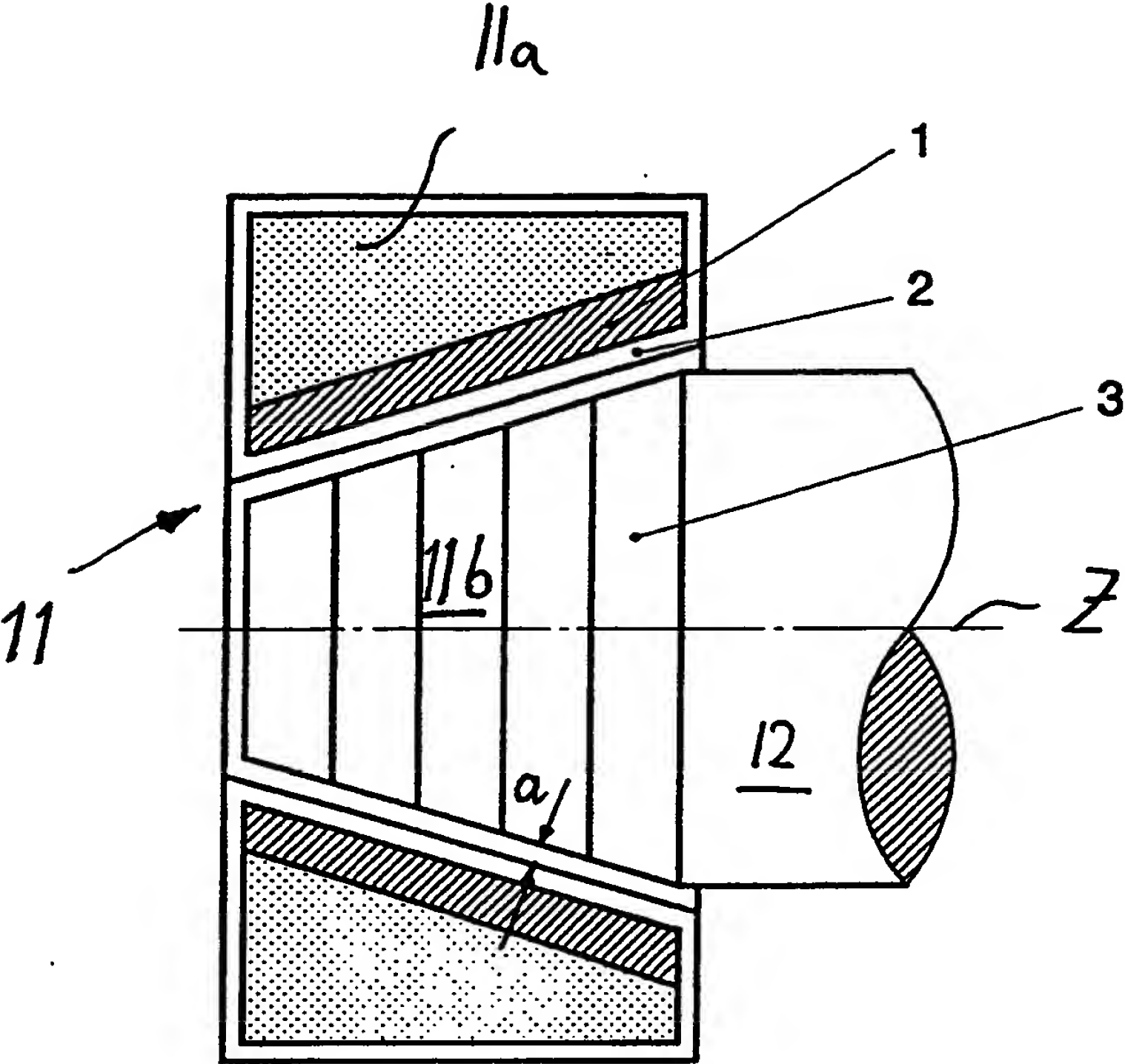


Fig. 1

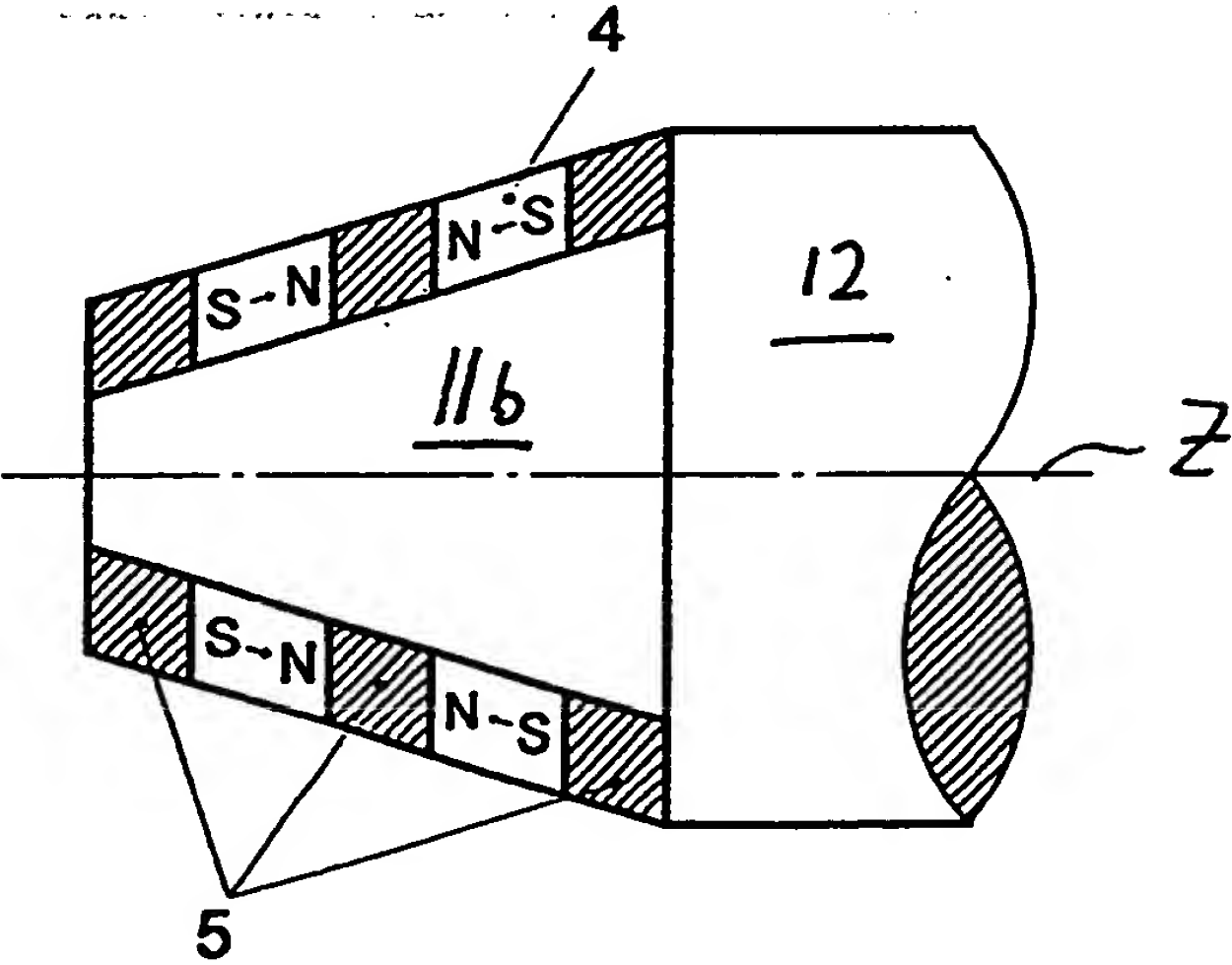


Fig. 2

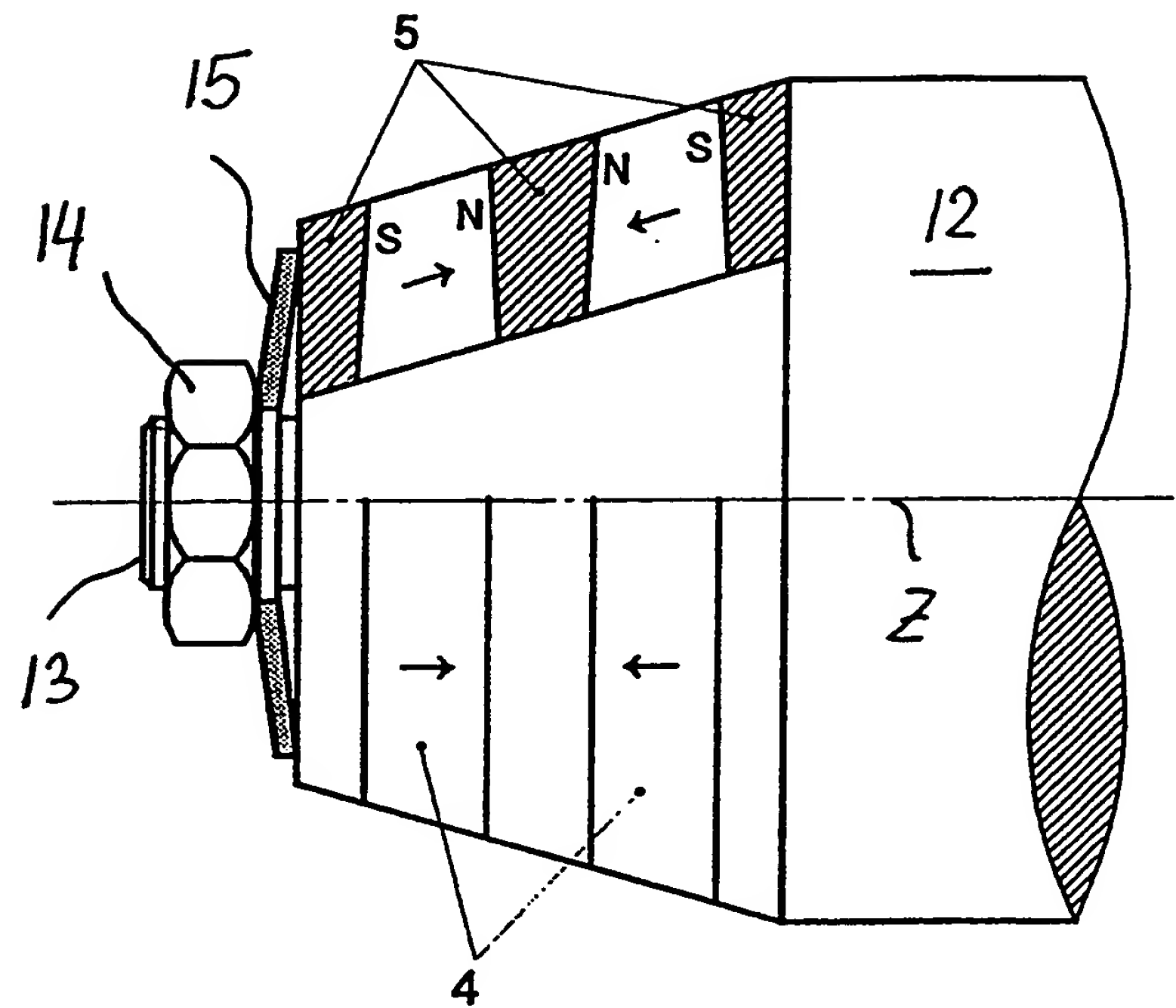


Fig. 3

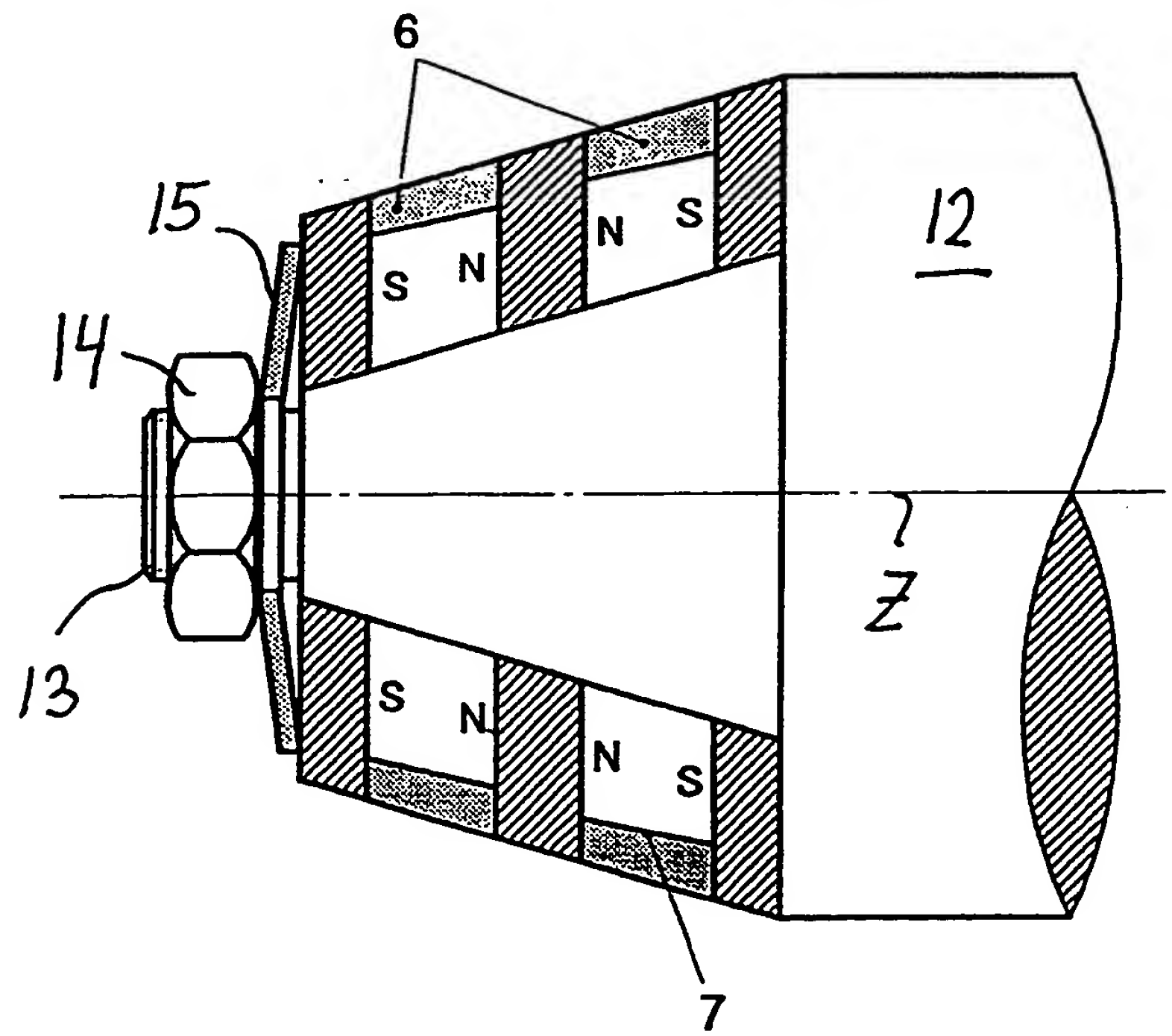


Fig. 4

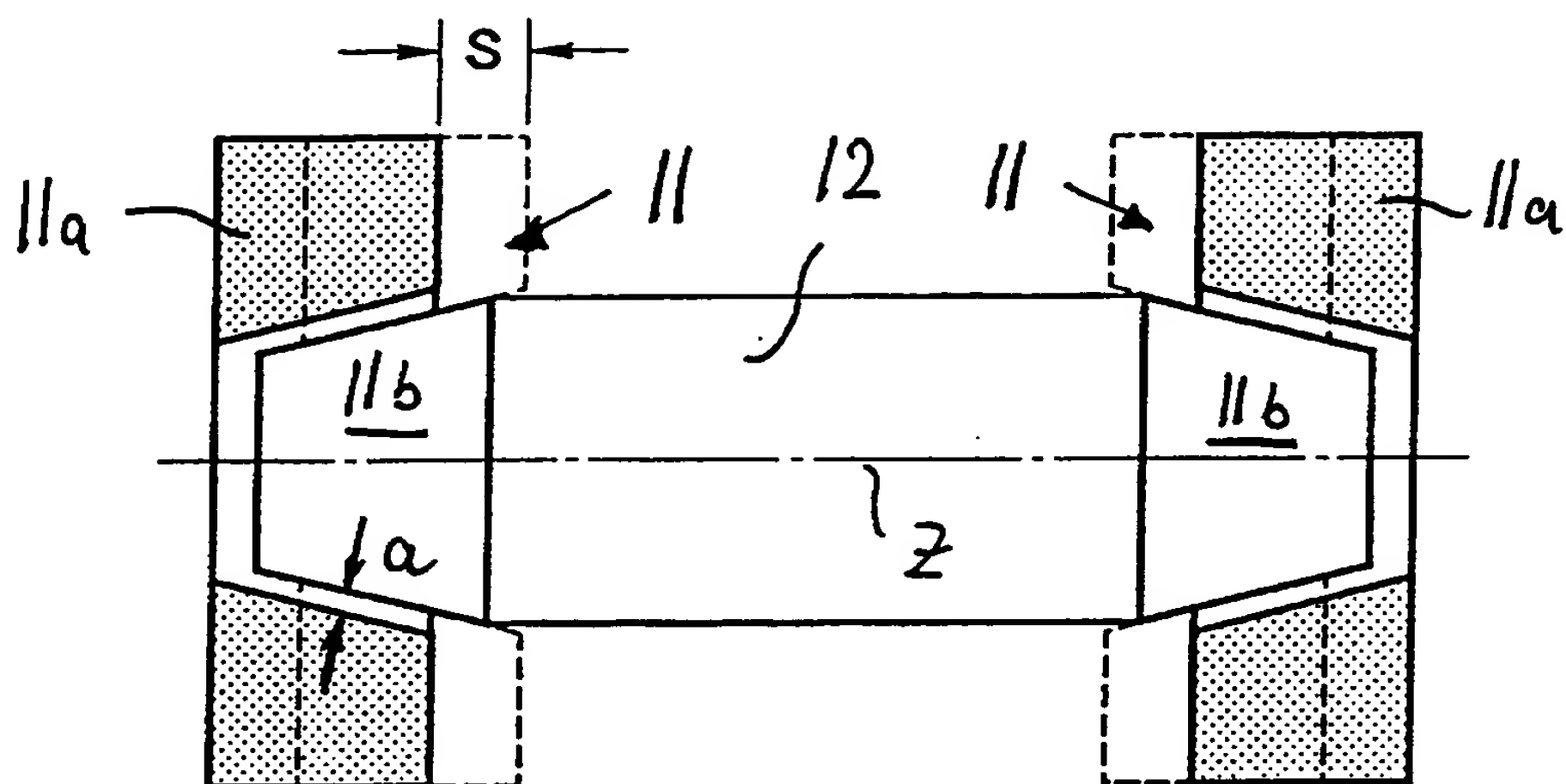


Fig. 5

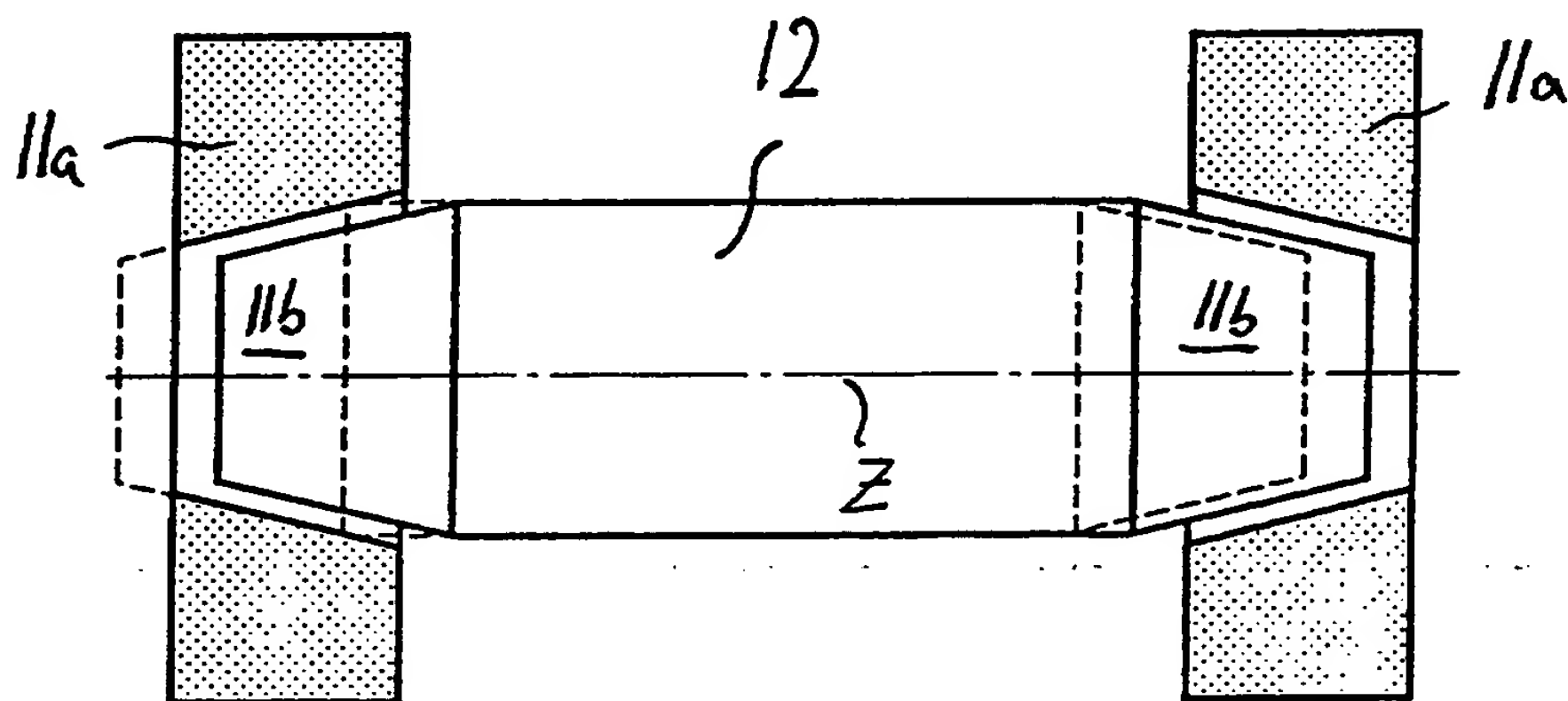


Fig. 6

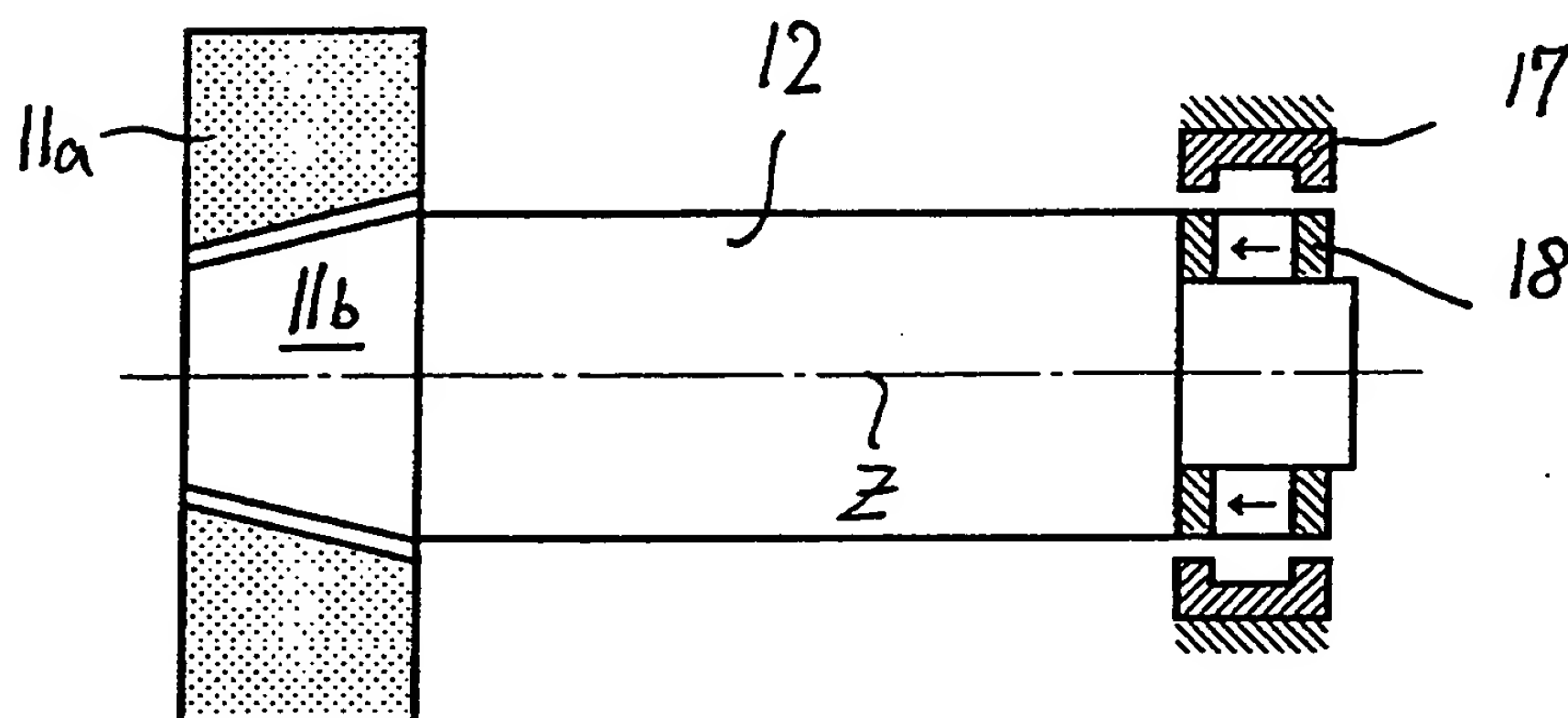
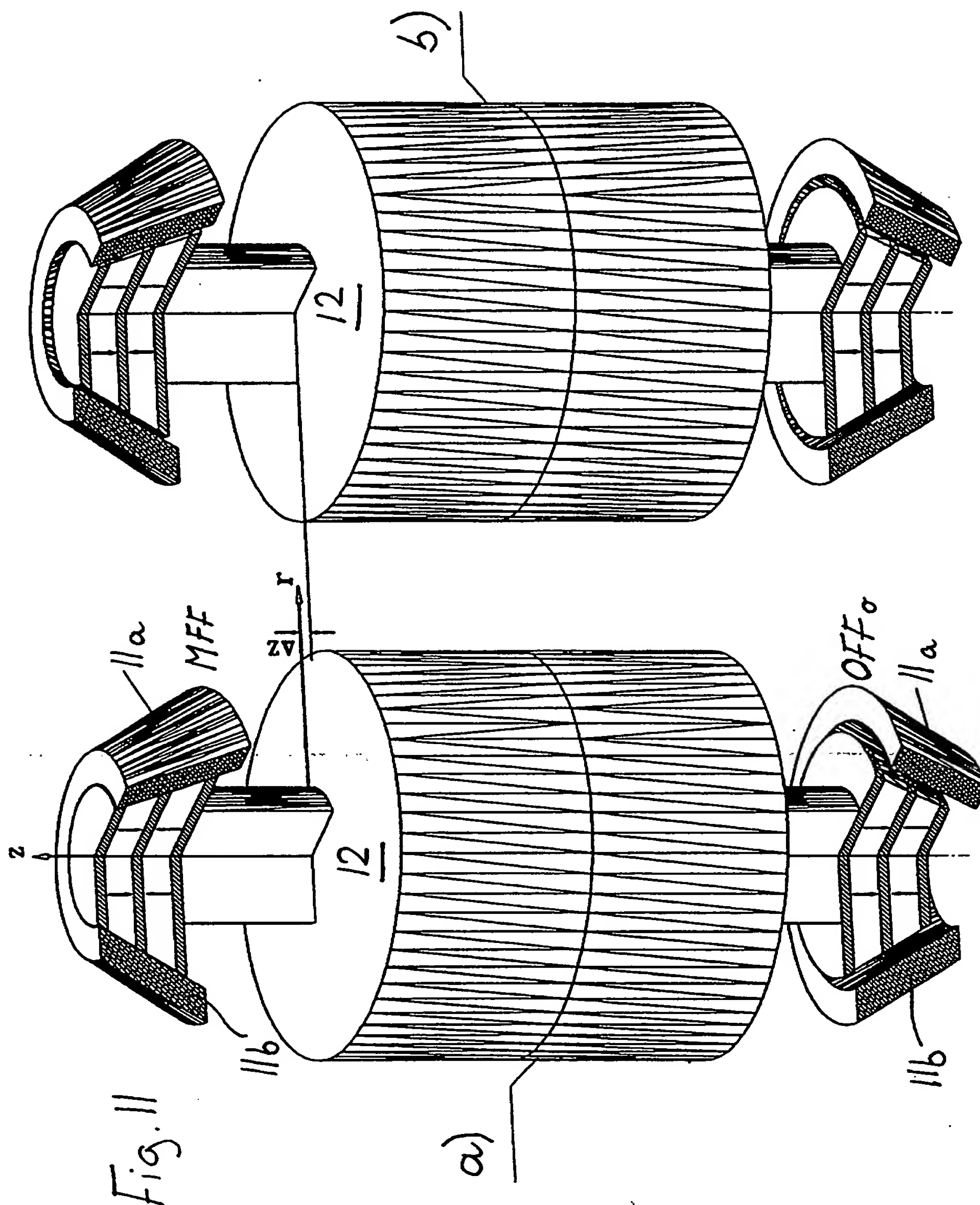


Fig. 10



Description OF DE19727550 The invention concerns a magnetic storage of a rotor in a stator, with at least a magnetic bearing, which exhibits a stator part and for this a rotor part arranged coaxially contactlessly in operating position, its camp effective area consists from at least two axially magnetized permanent magnet disks with more alternating, parallel to the camp effective area of aligned magnetization and of the permanent magnet disks axially taking off disk-shaped pole pieces arranged between the permanent magnet disks, while the stator part exhibits a high temperature superconductor. A such execution form can be inferred the DE 44 44 587 A1. A turbine with a magnetically stored wave, whose is revealed each camp first connected with the wave store-hurry and stationary second store-hurry enclosure. First store-hurry is a permanent magnetic element connected with the turbine shaft, while a superconducting high temperature superconductor material on most stationary second store-hurry is arranged. The permanent magnetic element covers lamellenfoermige, permanent magnetic and ferrous magnetic construction units, those alternating sequences. The permanent magnetic construction units exhibit one parallel to the axle of the turbine shaft aligned, alternating arranged magnetization, whereby the camp is stable both in radial and in axial direction. If the high temperature superconductor material is in the superconducting condition, during a change of position of the permanent magnetic element relative to the superconducting element in the superconductor material shielding stream are started. Thus magnetic forces are caused, which work against the change of position of the permanent magnetic element relative to the superconductor material. By these forces the previous situation of the permanent magnetic element resets itself related to the superconductor material automatically. Thus a intrinsisch stable storage is made possible.

For bringing this before-well-known turbine shaft into its target situation, a lifting device is intended, whereby with the stop of the turbine lifting elements carry the turbine shaft in a given situation above a target position. For the start-up of the magnetic camps the cooling of the superconductor material is activated, so that the superconducting condition adjusts itself. By means of the lifting device the turbine shaft is then easily lowered. Thus resetting forces are induced between the storage hurrying. By means of these forces the turbine shaft in a target

situation is held. The lifting elements of the lifting device are then removed from the turbine shaft, so that the storage of the turbine shaft is frictionless. Mechanical catch and/or emergency camps can be intended for the increase of the working reliability of the turbine in both bearings, by which a rotation of the turbine shaft is possible also without cooling of the camps. The DE 42 32 869 A1 reveals a superconducting camp unit, which covers one on a turning wave fastened permanent magnet as well as a superconducting body, which are fastened to the interior extent of a housing, which surrounds the turning wave. The superconducting body is so furnished that it can be cooled with turning wave moved upward until it achieves a superconducting condition, so that the turning wave is held during the enterprise in an equilibrium between its weight and the attaching parts and a Pinningkraft, which are caused by the permanent magnet and the superconducting body. The permanent magnets can be fastened to the turning wave above in each case and down and the superconducting bodies to two places at upper and lower interior extent surfaces of the housing. The outside extent surface of the permanent magnets are conical exterior surfaces or convex surfaces, while the interior extent surfaces of the respective superconducting bodies are conical inner surfaces or concave surfaces. With this execution form the turning wave with a sufficiently large radial strength in addition, in axial direction (pressure direction) can be stored. The arising attractive and repulsive forces can be attributed the Pinningkraft. Magnetic camps in the form of regulated camps are for some time well-known. With regulated magnetic bearings the fact is unfavorable that these camps are not self-stable, but by a regulation to be stabilized, the sensors, leistungsteilglieder must and a complex electronic circuit or a microcomputer with complex software contains. Such systems are trouble-prone, cost-intensive and have frequently problems with the electromagnetic compatibility.

Active regulated components with permanent magnets can be combined to hybrid lageranordnungen, in order to further limit for example the energy consumption for the storage. It is however for a long time well-known that a stable, unsettled storage of a body is not possible only with permanent magnets. (Earnshaw, S.: On the Nature OF Molecular Forces which regulate the Constitution OF the Luminiferous ether, trans. OF the Cambridge Philosophical Society, Bd. 7

(1842), S. 97. . . 112). Thus always at least one axle must be regulated. For regulation-technical reasons one decouples the individual axles favourably, in which one develops axial and radial bearing elements standing perpendicularly one on the other, which increases the construction volume of the storage clearly. From the DE 44 36 831 A1 a magnetic storage is well-known, which exhibits a stator and a rotor. The latter is contactlessly and coaxially stored in the stator in operating position. The camp effective area consists of axially magnetized permanent magnet disks more alternating, parallel to the camp effective area of aligned polarity, between which pole pieces are arranged, which take the permanent magnet disks off. On the stator a superconducting structure is arranged. Furthermore it is well-known from this block letters to raise the rotor to to the stator and to cool in this position the superconductor down under the transition temperature. The invention is the basis the task to improve the initially described magnetic storage. This task is solved according to invention by the characteristics of the requirement 1. One receives stable storage by the use of field forces, which develop, if one approximates a magnetic field (erregfeld) to a superconductor in the superconducting condition (field-free cooling) or cools the superconductor down in the magnetic field (cooling under operating field). Computations show that one receives particularly favorable force densities of the carrying capacity and rigidities under conditions in line with standard usage if one cools the superconductor down in the close contact with the exciter arrangement (cooling under maximum field) and then the exciter arrangement into the operating position moves away. When superconductor materials leave themselves the high temperature superconductors (HTSL) to use particularly favourably, which already develop sufficiently large critical current densities with cooling with liquid nitrogen. A manufacturing of such superconductors in the form of wires or coils is not necessary but it is sufficient the use of simply producible massif materials, how they are won for example from YBaCuO alloys in the Schmelztexturiervfahren. Depending upon choice of the freezing procedure the superconductor produces only repulsive forces, repulsive and attractive forces or only attractive forces.

The magnetic storage according to invention is compact and space-saving and can with other be resembled or different camp elements to one axially and radially stable and rigid storage of a rotary body be combined. By a camp effective area in form of a truncated cone one receives both a radial and an axial carrying capacity component. By the choice of the Oefnungswinkels of the cone the relationship of the two components can be adapted to each other to the Erfordernisse of case of application. The cone structure permits the application of the freezing procedure "maximum field frozen" with its favorable carrying capacity characteristic by a simple axial shift of the camp element stator or the rotor and the mutual spanning of two camp elements, which leads to a clearly higher bearing rigidity. A combination with further elements for the reinforcement of the axial force or if necessary the radial force component is problem-free possible. The specific carrying capacity of the camp and thus its necessary construction volume essentially depend on two sizes. On the one hand of the critical current density of the superconductor, on the other hand of the size of the erregerfeldes. Both should be as large as possible. While the critical current density is given by the material technology, the exciter field amplitude can be increased by the arrangement with permanent magnets and pole pieces clearly. At the same time by the ferrousmagnetic pole pieces the tolerances in the remanence induction of the individual magnets are produced balanced and an even induction amplitude at the effective area of the camp. This is a basic condition for as small a auxiliary losses as possible. A further favourable arrangement of the pole pieces exists in a Blechung in axial direction, which suppresses eddy currents and thus auxiliary losses, which are produced again by inhomogeneities of the HTSL of material. During the cold driving of the Cryostaten the rotor is to be fixed in a defined position, until the superconducting condition is reached. For this the centering effect of the cone lateral surface can be used favourably, as the camp stators are shifted axially up to the notice. This kind of the freezing procedure under magnetic field (cooling under maximum field) leads when moving the camp stators away to traction powers, so that camp both bearings can be strutted against each other.

Here an eccentric shift of the rotor in vertical direction can be achieved by an accordingly trained notice edge, so that eccentric deflection straight corresponds to the static compression of the rotor under dead weight. In the enterprise the rotor orbit would have then the geometrical center of the camp as center. Since red-end part of the camp naturally the continuous magnets for the setting up of the erregerfeldes carries, these are to be stabilized against the centrifugal force demand. This is with the help of a positive axial spanning of the exciter arrangement or possible for high-rigid GRP components materials by a volume acting of the magnets also. Also the combination of the superconducting camp with a further camp on the basis of permanent magnets (repulsively or attractively) is possible and leads to further place and cost savings. Further characteristics of the invention are the subject of the unteransprueche and with further advantages of the invention on the basis some remark examples are more near described. In the design some execution forms of the invention serving as examples are schematically represented. Show:

Fig. 1 a magnetic storage in the profile; Fig. 2 in the profile the rotor part of a magnetic bearing; Fig. 3 a modified execution form in a representation in accordance with Fig. 2; Fig. 4 a modified execution form in a representation in accordance with Fig. 3; Fig. 5 in the profile the rotor screen end wave, which is stored in two magnetic bearings, their stator parts opposite the rotor is axially against-intimately adjustable; Fig. 6 representation in accordance with Fig. 5, whereby however the rotor is axially adjustable in relation to the stationarily arranged stator parts of the two magnetic bearings; Fig. 7 the stator part of a magnetic bearing in the profile; Fig. 8 a cross section in accordance with the line OFF in Fig. 7; Fig. 9 an execution form in accordance with Fig. 6 with an additional axial-thrust bearing and a turbine wheel connected with the rotor; Fig. 10 a modified execution form in a representation in accordance with Fig. 6 and Fig. 11 a modified execution form in perspective representation.

Fig. 1 shows to end of a rotor 12 planned magnetic storage of this rotor in a stator not represented more near. A magnetic bearing 11, which exhibits a stator part of 11a and for this in

operating position coaxially contactlessly arranged rotor part of 11b, is schematically represented. The stator part of 11a exhibits a solid high temperature superconductor 1, which is arranged as river-fixing construction unit within a Cryostaten 2. In the rotor part of 11b continuous magnets 3 are arranged for the production multipole arene of a erregelfeldes. The effective area of the camp is in form of a truncated cone coat implemented, so that the magnetic bearing can produce 11 radial and axial forces at the same time, their relationship by the opening angle of the cone adjustable is to each other. With the execution form in accordance with Fig. 2 the camp effective area of the rotor part of 11b is seated together from several axialmagnetic permanent magnet disks 4 with more alternating, parallel to the camp effective area aligned magnetization N, S and from the permanent magnet disks 4 axially taking off and/or the permanent magnet disks to arranged disk-shaped pole pieces 5. The permanent magnet disks 4 are to each other arranged with their Poland of the same name, so that with the execution form in accordance with Fig. originates in to 2 a field magnetic homogeneous in circumferential direction in axial direction of multipole acre, while inhomogeneities caused by production of the continuous magnets become balanced 3 by the pole pieces 5. The pole pieces 5 know electric sheet from high-strength ferrousmagnetic material in particular out in axial direction geblechtem ferrousmagnetic material, preferably, exist, so that eddy currents in the pole pieces 5 are suppressed to a large extent due to inhomogeneities caused by production of the high temperature superconductors.

The pole pieces 5 know electric sheet from high-strength ferrousmagnetic material in particular out in axial direction geblechtem ferrousmagnetic material, preferably, exist, so that eddy currents in the pole pieces 5 are suppressed to a large extent due to inhomogeneities caused by production of the high temperature superconductors. The Fig. 3 and 4 shows that the camp effective area of the rotor part of 11b of forming construction units 4, 5 are axially strutted. Intended for this a spannbolzen is 13, on which a tightening nut 14 is screwed, which applies the clamping pressure over a pressring 15 on the outermost pole piece 5. Fig. it shows 3 that neighbouring permanent magnet disks 4 and pole pieces exhibit 5 mirror-image to their centric axle Z a conical complementary cross-sectional shape, whereby the pole pieces 5 widen

themselves radially outward. The elements 4, 5 are secured by the axial spanning against centrifugal forces. With the execution form in accordance with Fig. 4 is the permanent magnet disks 4 supported for carbon fibers on their lateral surface 7 with a bandage 6 from hochmoduligem GRP components material, preferably, against centrifugal forces. Thereby it is appropriate if the lateral surface of the permanent magnet disks 4 exhibits a taper within the range of automatic locking, and that on the lateral surface 7 of the permanent magnet disks 4 the bandage mentioned 6 with complementary internal contour is pressed. In accordance with Fig. the rotor 12 is in two itself axially facing, regarding its truncated cone form mirror-image to each other trained magnetic bearings 11 stored 5. By axial shift of the stator parts of 11a around an amount S (see in Fig.) a spanning of the magnetic bearings becomes possible for 5 the broken representation the increase of the rigidity.

Fig. likewise a rotor 12, that shows 6 in its two final ranges in a magnetic bearing for example in accordance with Fig. 1 is stored. The rotor 12 is axially adjustable opposite the stationarily arranged magnetic bearings. This gives the possibility of cooling the two magnetic bearings down 11 successively and during the cold driving the rotor 12 only in the one, e.g. link and then in other to position e.g. right camp element in the axial and centered notice so that can the favorable rigidity characteristics for "cooling under maximum field" (MFF) as well as an axial spanning be adjusted after the cooling of camp both bearings. In order to give during the freezing procedure to the rotor 12 a defined eccentric position, it is favourable, if embracing wall of the Cryostaten 2 exhibits itself the rotor 12 at least one approximate in axial direction extending stop bar 8, which lends 12 during its axial shift into the stator part 11a an eccentric position, which corresponds to the negative static compression of the rotor 12 under dead weight to the rotor. The arrangement of two stop bars 8 is more favorable. In each case a defined eccentric position of the rotor is given, which corresponds to the negative static compression of the rotor 12 under dead weight. For the education of an additional axial-thrust bearing the stator in axially outside a lying front wall can exhibit a circular section 10 of the high temperature superconductor 1, which a magnet ring 9

compound from permanent magnets is course-arranged, which is integrated into a turbine wheel 16 or such a thing standing with the rotor 12 in rotation connection.

With the execution form in accordance with Fig. 10 is only the left magnetic storage as stabilizing camp in accordance with Fig. 1 trained, while the right storage with repulsive or however attractive permanent magnets 17, 18 can be developed. Fig. 11 shows a rotor 12 with vertical axle Z. The rotor 12 is represented in the left representation A) in its freezing position and in the right representation b) in its operating position. For freezing the rotor 12 is pushed axially upward, until the rotor part of 11b rests against the stator part of 11a. This axial shift is indicated as DELTA Z. The lower magnetic storage exhibits the largest gap distance A between stator part of 11a and rotor part of 11b in this position. In this position of the rotor 12 both magnetic bearings 11 are coldly driven at the same time. This results in "freezing in the maximum field location" (maximum Field Frozen = MFF) in the upper magnetic bearing, during itself in the lower magnetic bearing "freezing in the minimum field position (operational Field Frozen with offset = OFFo) results in. The freezing procedure "operational Field Freezing" can take place with or without shift for operating position (offset). Investigations resulted in that load-carrying capacities and rigidities of the magnetic bearings are dependent on the load direction on the freezing procedure and. So off camps can take up very well thrust forces, while MFF camps exhibit good characteristics during the tensile stress. By with the execution form in accordance with Fig. 11 accomplished freezing procedures achieves one a compensation of the static gewichtskraft and thus a favourable optimization of the load-carrying capacity of the magnetic storage. If one releases oneself the rotor 12 in the position of the Fig. 11a after the cold driving, the upper magnetic bearing on course becomes due to the gewichtskraefte and the lower magnetic bearing on pressure loads, which leads to an optimal load-carrying capacity and rigidity.